



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 022 518 B4** 2009.09.10

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 022 518.2**

(22) Anmeldetag: **14.05.2007**

(43) Offenlegungstag: **20.11.2008**

(45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **10.09.2009**

(51) Int Cl.⁸: **G01T 1/29** (2006.01)
G01T 1/20 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:

Heismann, Björn, Dr., 91052 Erlangen, DE;

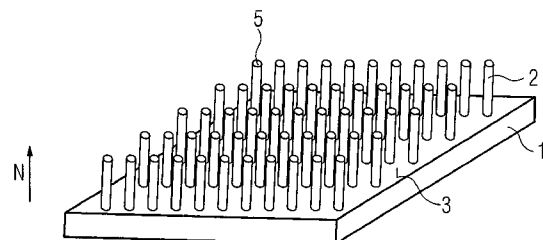
Kobusch, Manfred, 81739 München, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

DE	197 15 725	C1
DE	10 2004 060932	A1
DE	100 21 938	A1
DE	33 35 512	A1
EP	03 77 825	B1
US	2006/01 08 533	A1
DE	10 2005 010077	A1
DE	10 2004 020468	A1
DE	101 08 553	A1

(54) Bezeichnung: **Strahlungswandler, Strahlungsdetektor und Verfahren zu deren Herstellung**

(57) Hauptanspruch: Strahlungswandler zur Wandlung von Röntgenstrahlung (7) in Licht (8), umfassend ein Szintillationsmaterial (4) zur Wandlung der Röntgenstrahlung (7) mit darin im Wesentlichen in paralleler Ausrichtung eingebetteten säulenartig ausgebildeten lichtführenden Elementen (2) zum Führen des Lichts (8) in deren Längsrichtung und ein Trägersubstrat (1) mit einer Trägersubstratoberfläche (3), von welcher die lichtführenden Elemente (2) in Normalenrichtung (N) der Trägersubstratoberfläche (3) säulenartig vorspringen, wobei das Trägersubstrat (1) aus einem für das Licht (8) transparenten Material hergestellt ist.



Beschreibung

Keramikblocks aufwändig.

[0001] Die Erfindung betrifft einen Strahlungswandler zur Wandlung von Röntgenstrahlung in Licht, einen den Strahlungswandler umfassenden Strahlungsdetektor und sowie Verfahren zu deren Herstellung.

[0002] Ein Strahlungswandler und ein Verfahren zu dessen Herstellung sind z. B. aus der US 2006/0108533 A1 bekannt. Der bekannte Strahlungswandler weist ein Array aus einzelnen Szintillatorbildpunkten, bzw. Szintillatorpixeln, auf. Die Szintillatorpixel sind durch Zwischenräume getrennt, in welchen zur Vermeidung eines optischen Übersprechens so genannte Septen vorgesehen sind. Bei dem bekannten Verfahren wird zunächst eine Gussform hergestellt, welche zu den Szintillatorpixeln komplementär ist. In die Gussform wird eine Szintillationssubstanz gegossen. Nach Verfestigen der Szintillationssubstanz wird die Gussform entfernt und die Zwischenräume werden mit Septenmaterial verfüllt.

[0003] Aus der DE 10 2005 010 077 A1 ist ein Strahlungswandler bekannt, welcher eine Vielzahl von matrixartig angeordneten Szintillatorpixeln aufweist, welche zur Vermeidung eines optischen Übersprechens durch Septen voneinander getrennt sind.

[0004] Die vorgenannten, bekannten Strahlungswandler bzw. damit hergestellte Strahlungsdetektoren erfordern einen hohen Herstellungsaufwand. Damit unmittelbar verbundenen sind hohe Herstellungskosten. Insbesondere erfordert die Pixelierung des Strahlungswandlers eine aufwändige lagegenaue Positionierung der Szintillatorpixel einem entsprechenden Lichtwandlerarray.

[0005] Bei dem erstgenannten Strahlungswandler ist es ferner von Nachteil, dass – bedingt durch das verwendete gießfähige Szintillationsmaterial – Streuprozesse im Szintillationsmaterial begünstigt werden wodurch eine Weglänge des darin erzeugten Lichts vergrößert wird, was sich negativ auf Eigenschaften wie Nachleuchten oder Driftverhalten auswirkt.

[0006] Aus der DE 10 2004 020 468 A1 ist ein aus einer Vielzahl von Szintillationsfasern zusammengesetzter, nicht in einzelne Pixel unterteilter Strahlungswandler bekannt. Zwar kann dieser infolge der Vermeidung einer Pixelierung in einfacher Weise auf einem Lichtwandlerarray positioniert werden. Jedoch ist auch dessen Herstellung aufwändig und kostenintensiv.

[0007] Darüber hinaus sind pixelierte Strahlungswandler bekannt, deren Szintillatorpixel durch Zersägen eines zuvor hergestellten monolithischen Keramikblocks hergestellt werden. Dabei sind einerseits die Herstellung und andererseits das Zersägen des

[0008] Aus der DE 100 21 938 A1 ist ein optisch anisotropes Szintillatorverbundmaterial umfassend ein Szintillatorgrundmaterial und darin eingebettete strahlungsabsorbierende oder -reflektierende Fasern. Aus der DE 197 15 725 C1 ist ein Leuchtstoffkörper mit einer keramischen Leuchtstoff-Matrix bekannt, in welcher annähernd parallele optische Kanäle gleichmäßig verteilt angeordnet sind. Die DE 10 2004 060 932 A1 betrifft einen Strahlungsdetektor mit einer Wandlerschicht, die als photonischer Kristall ausgebildet ist. Die Wandlerschicht kann eine Vielzahl an Fasern umfassen.

[0009] Aufgabe der Erfindung ist es, die Nachteile nach dem Stand der Technik zu beseitigen. Es soll insbesondere ein Strahlungswandler bzw. Strahlungsdetektor angegeben werden, welcher besonders einfach und kostengünstig herstellbar ist und besonders vorteilhafte lichtführende Eigenschaften aufweist. Ferner sollen einfache und kostengünstige Verfahren zur Herstellung des Strahlungswandlers und Strahlungsdetektors angegeben werden.

[0010] Diese Aufgabe wird gelöst durch die Merkmale der Ansprüche 1, 13, 16 und 27. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Ansprüchen 2 bis 12, 14 und 15, 17 bis 26, 28 und 29.

[0011] Nach einem ersten Aspekt der Erfindung ist ein Strahlungswandler zur Wandlung von Röntgenstrahlung in Licht vorgesehen. Der Strahlungswandler umfasst ein Szintillationsmaterial zur Wandlung der Röntgenstrahlung in Licht. In das Szintillationsmaterial sind im Wesentlichen in paralleler Ausrichtung säulenartig ausgebildete lichtführende Elemente zum Führen des Lichts in deren Längsrichtung eingebettet. Bezüglich der Längsrichtung liegen dabei auf einer Lichtaustrittsfläche des Strahlungswandlers gelegene Deckflächen der lichtführenden Elemente frei.

[0012] Der Strahlungswandler umfasst ein Trägersubstrat, von welchem die lichtführenden Elemente in einer Normalenrichtung einer Trägersubstratoberfläche säulenartig vorspringen. Das Trägersubstrat dient unter anderem dazu – was der Begriff "Trägersubstrat" bereits impliziert – die lichtführenden Elemente in einer vorgesehenen Anordnung und Ausrichtung, insbesondere beim Herstellungsprozess des Strahlungswandlers, zu halten. Ferner kann der Strahlungswandler durch das Trägersubstrat mechanisch stabilisiert werden. Bei Verwendung des Trägersubstrats kann insbesondere die Herstellung des Strahlungswandlers vereinfacht werden.

[0013] Das Trägersubstrat ist aus einem für das Licht transparenten Material hergestellt. In Betracht kommt – in Analogie zu den lichtführenden Elementen

ten – ein Kunststoffmaterial. Das ist insbesondere dann von Vorteil, wenn das Licht über das Trägersubstrat ausgekoppelt wird.

[0014] Die auf den Strahlungswandler auftreffende Röntgenstrahlung wird im Szintillationsmaterial in Licht umgewandelt. Das im Szintillationsmaterial erzeugte Licht oder zumindest ein Teil dessen durchquert das Szintillationsmaterial in Richtung einer Lichtaustrittsfläche des Strahlungswandlers und kann dort mit geeigneten Lichtwandlerelementen erfasst und in elektrische Signale gewandelt werden. Trifft das Licht im Szintillationsmaterial auf ein lichtführendes Element, so dringt das Licht in dieses ein und kann mit hoher Wahrscheinlichkeit und besonders effektiv zur Lichtaustrittsfläche und damit zu den Lichtwandlerelementen geführt werden. Durch eine mehr oder weniger dichte Anordnung der lichtführenden Elemente kann beeinflusst werden, welche Weglänge das Licht im statistischen Mittel im Szintillationsmaterial senkrecht zu den lichtführenden Elementen zurücklegt. Damit ist es möglich, eine mit der Ortsauflösung des Strahlungswandlers verknüpfte Punktbildfunktion an jeweilige Erfordernisse optimal anzupassen.

[0015] Die Auflösung des Strahlungswandlers wird primär durch die in weiten Grenzen variable/n Abmessungen und eine Flächendichte der lichtführenden Elemente in Ebenen parallel zur Strahlungseintrittsfläche beeinflusst.

[0016] Die lichtführenden Elemente können aus einem einfach verarbeitbaren und kostengünstigen, für das Licht transparenten Kunststoffmaterial hergestellt sein. Insbesondere kommen Kunststoffmaterialien in Betracht, deren lichtoptische Eigenschaften an das Szintillationsmaterial besonders gut angepasst sind. Als eine die lichtoptischen Eigenschaften beschreibende physikalische Größe kommt dabei unter anderem der optische Brechungsindex in Betracht. Bei einer bestmöglichen Passung der Brechungsindizes des Szintillationsmaterials und des Materials der lichtführenden Elemente, können Verluste beim Übergang vom Szintillationsmaterial zu den lichtführenden Elementen minimiert werden. Dadurch bedingt kann die Genauigkeit der Erfassung der Röntgenstrahlung optimiert werden.

[0017] Eine Längs- und oder Querschnittsform der lichtführenden Elemente kann insoweit beliebig gewählt werden, als durch die entsprechend der jeweiligen Form ausgebildeten lichtführenden Elemente eine effektive Führung des Lichts zur Lichtaustrittsfläche möglich ist. Die lichtführenden Elemente können z. B. faserartig ausgebildet sein. Sie können einen rechteckigen, sechseckigen, runden, ovalen usw. Querschnitt aufweisen. Im Längsschnitt können die lichtführenden Elemente je nach Anforderungen an die Führung des Lichts z. B. rechteckförmig sein oder

sie können einen beliebigen sich kontinuierlich verändernden Querschnitt, wie z. B. eine Dreiecksform, aufweisen.

[0018] Die lichtführenden Elemente können im Wesentlichen in einer beliebigen gegenseitigen Anordnung eingebettet sein. Vorzugsweise sind die lichtführenden Elemente jedoch entsprechend einem vorgegebenen geometrischen Muster, z. B. matrixartig in Zeilen und Spalten, eingebettet. Das Muster ist verknüpft mit der Flächendichte der lichtführenden Elemente, d. h. der Anzahl der lichtführenden Elemente pro Flächeneinheit parallel zur Einfallfläche der Röntgenstrahlung. Über die Flächendichte können Auflösung und Punktbildfunktion des Strahlungswandlers beeinflusst werden. Vorzugsweise ist das Muster derart, dass die lichtführenden Elemente zumindest in Ebenen senkrecht zur Einfallrichtung der Röntgenstrahlung isotrop angeordnet sind.

[0019] Die lichtführenden Elemente weisen vorzugsweise einen mittleren Durchmesser von 50 µm bis 500 µm, 100 µm bis 300 µm bzw. 150 µm bis 200 µm auf. Mit steigendem Durchmesser steigt eine Einfangfläche der lichtführenden Elemente für das Licht und damit die Wahrscheinlichkeit, dass das im Szintillationsmaterial erzeugte Licht zur Lichtaustrittsfläche geführt wird. Allerdings steigt mit steigendem Durchmesser die durch die lichtführenden Elemente verursachte Totzone. Durch geeignete Wahl des Durchmessers und, ggf. in Abhängigkeit des geometrischen Musters der Anordnung und der Querschnittsformen, kann für jeweilige Anforderungen ein optimaler Kompromiss zwischen Punktbildfunktion, optimaler Lichtführung und Sensitivität des Strahlungswandlers erreicht werden.

[0020] Das Trägersubstrat und die lichtführenden Elemente können einstückig ausgebildet sein. Dabei können das Trägersubstrat mit den darauf ausgebildeten lichtführenden Elementen in einem einheitlichen Herstellungsprozess hergestellt werden. Das bedeutet eine Vereinfachung der Herstellung und eine Verringerung damit verbundener Kosten. Letzteres gilt insbesondere dann, wenn das Trägersubstrat und die lichtführenden Elemente aus gleichem Material sind.

[0021] Das Szintillationsmaterial kann eine zur Wandlung der Röntgenstrahlung geeignete pulverartige oder gekörnte Szintillationssubstanz umfassen. Derartige Szintillationssubstanzen können einfach verarbeitet werden, wodurch die Herstellung weiter vereinfacht werden kann. Beispielsweise ist es u. U. nicht erforderlich, aus der pulverartigen Szintillationssubstanz einen Szintillatorrohling herzustellen, bzw. zu pressen. Das Szintillationsmaterial kann ein Gemisch aus einer Trägersubstanz und der Szintillationssubstanz umfassen. Bei der Trägersubstanz kann es sich um einen Kleber, einen Kunststoff, insbeson-

dere um ein Epoxidharz handeln. Vorteilhafter Weise sind Eigenschaften der Trägersubstanz und der Szintillationssubstanz derart kompatibel, dass eine in einfacher Weise zu verarbeitende Verguss- bzw. Füllmasse herstellbar ist.

[0022] Als Szintillationssubstanz kommt z. B. ein keramischer Werkstoff in Betracht. Dabei können vorteilhafte Szintillationseigenschaften bekannter keramischer Werkstoffe ausgenutzt werden, ohne dass eine, wie z. B. aus der DE 101 08 553 A1 bekannte, aufwändige Herstellung eines Keramikrohlings oder Grünkörpers erforderlich ist.

[0023] Nach einem zweiten Aspekt der Erfindung ist ein Strahlungsdetektor zur Wandlung von Röntgenstrahlung in elektrische Signale vorgesehen. Der Strahlungsdetektor umfasst den erfindungsgemäßen Strahlungswandler oder eine Ausgestaltung desselben. Der Strahlungsdetektor umfasst ferner zumindest ein Lichtwandlerelement, z. B. eine oder mehrere Photodioden, zur Wandlung des Lichts in elektrische Signale. Das zumindest eine Lichtwandlerelement, ist mit einer Lichteintrittsfläche auf einer im Wesentlichen senkrecht zur Längsrichtung der lichtführenden Elemente verlaufenden Lichtaustrittsfläche des Strahlungswandlers angebracht. Zur Sicherstellung eines möglichst verlustfreien optischen Übergangs zwischen Strahlungswandler und Lichtwandlerelement, ist es von Vorteil, wenn optische Eigenschaften des Strahlungswandlers und des/der Lichtwandlerelements/e aneinander bestmöglich angepasst sind. Gegebenenfalls kann der optische Übergang durch weitere, zwischen dem Strahlungswandler und dem Lichtwandlerelement vorgesehene optische Kopplungsmedien weiter verbessert werden.

[0024] Das Lichtwandlerelement kann auf dem Trägersubstrat oder auf einer dem Trägersubstrat gegenüberliegenden Seite des Strahlungswandlers angebracht sein. Je nach erforderlicher Auflösung kann eine Vielzahl an, insbesondere matrixartig in Zeilen und Spalten angeordneten, Lichtwandlerelementen vorgesehen sein.

[0025] Bezüglich Vorteilen und vorteilhaften Wirkungen des Strahlungsdetektors wird auf Vorteile und vorteilhafte Wirkungen des Strahlungswandlers verwiesen. Insbesondere kann der Strahlungsdetektor besonders einfach und kostengünstig hergestellt werden.

[0026] Nach einem dritten Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung eines Strahlungswandlers zur Wandlung von Röntgenstrahlung in Licht vorgesehen. Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst die Schritte:

a) Herstellen eines Trägersubstrats mit einer Vielzahl in Normalenrichtung einer Trägersubstratoberfläche des Trägersubstrats im Wesentlichen in

paralleler Ausrichtung vorspringenden, säulenartigen, zum Führen des Lichts geeigneten lichtführenden Elementen,

b) Herstellen eines füllfähigen Szintillationsmaterials und

c) Aufbringen des Szintillationsmaterials auf die Trägersubstratoberfläche derart, dass sich zumindest ein zusammenhängender Bereich ergibt, in welchem zumindest Mantelflächen der lichtführenden Elemente vom Szintillationsmaterial umgeben sind, wobei das Trägersubstrat aus einem für das Licht transparenten Material hergestellt wird.

[0027] Aus den oben beschriebenen Eigenschaften und Vorteilen des Strahlungswandlers und des Strahlungsdetektors folgt unmittelbar, dass das erfindungsgemäße Verfahren besonders einfach und kostengünstig durchgeführt werden kann. Insoweit wird auf die vorangehenden Ausführungen verwiesen. Die Schritte lit. a) und b) können in beliebiger Reihenfolge ausgeführt werden. Unter Mantelfläche wird in diesem Zusammenhang verstanden, dass eine das Volumen eines lichtführenden Elements begrenzende Oberfläche aus einer Grundfläche, Deckfläche und der Mantelfläche besteht, wobei die Grundfläche bzw. Deckfläche im Wesentlichen parallel zur Lichtaustrittsfläche sind.

[0028] Das Trägersubstrat kann nach Aufbringen des Szintillationsmaterials abgetragen werden. Dadurch kann die Bauhöhe des Strahlungsdetektors verringert werden. Es ist auch möglich, dass der Strahlungswandler ohne Vorsehen des Trägersubstrats hergestellt wird. Dabei werden die lichtführenden Elemente in geeigneter Weise gehalten, während diese in eine Schicht des Szintillationsmaterials in der erfindungsgemäßen Orientierung eingebettet werden.

[0029] Entsprechend der Ausgestaltungen des Strahlungswandlers und des Strahlungsdetektors können bei dem Verfahren nach dem dritten Aspekt

- zumindest die lichtführenden Elemente aus einem für das Licht transparenten Material, vorzugsweise aus einem Kunststoffmaterial, hergestellt werden,
- die lichtführenden Elemente faserartig ausgebildet werden,
- die lichtführenden Elemente entsprechend einem vorgegebenen geometrischen Muster, vorzugsweise matrixartig in Zeilen und Spalten, ausgebildet werden,
- das Trägermaterial aus einem Kunststoffmaterial hergestellt werden,
- das Szintillationsmaterial aus einer zur Wandlung der Röntgenstrahlung in das Licht geeigneten pulverartigen oder gekörnten Szintillationssubstanz hergestellt werden,
- das Szintillationsmaterial als Gemisch, umfas-

send eine Trägersubstanz und die Szintillations-substanz hergestellt werden,

- die Trägersubstanz aus einem Kleber, einem Kunststoff, insbesondere einem Epoxidharz, hergestellt werden
- die Szintillationssubstanz aus einem keramischen Werkstoff hergestellt werden,

Vorteile und vorteilhafte Wirkungen des Verfahrens, einschließlich der Merkmale der vorangehenden Aufzählung, ergeben sich unmittelbar aus Vorteilen und vorteilhaften Wirkungen des Strahlungswandlers und Strahlungsdetektors. Insbesondere wird auf eine besonders einfache und kostengünstige Herstellung sowie auf vorteilhafte Detektionseigenschaften, wie z. B. der Punktbildfunktion, verwiesen.

[0030] Zur weiteren Vereinfachung des Verfahrens kann das Trägersubstrat mit den lichtführenden Elementen mittels eines Spritzgussverfahrens hergestellt werden.

[0031] Nach einem vierten Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung des erfindungsgemäßen Strahlungsdetektors oder einer Ausgestaltung desselben vorgesehen. Das Verfahren nach dem vierten Aspekt umfasst das Verfahren nach dem dritten Aspekt der Erfindung und den weiteren Schritt:

- Anbringen eines zur Wandlung des Lichts in elektrische Signale geeigneten Lichtwandlerelements mit einer Lichteintrittsfläche desselben auf einer senkrecht zu einer Längsrichtung der lichtführenden Elemente verlaufenden Lichtaustrittsfläche des Strahlungswandlers.

[0032] Das Lichtwandlerelement kann auf dem Trägersubstrat oder auf einer dem Trägersubstrat gegenüberliegenden Seite des Strahlungswandlers angebracht werden.

[0033] In einem weiteren Schritt des Verfahrens nach dem vierten Aspekt kann das Trägersubstrat abgetragen werden, beispielsweise bevor das/die Lichtwandlerelemente angebracht werden.

[0034] Bezüglich Vorteilen und vorteilhaften Wirkungen des Verfahrens nach dem vierten Aspekt wird auf Ausführungen zum Strahlungswandler, Strahlungsdetektor und Verfahren nach dem dritten Aspekt verwiesen.

[0035] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

[0036] Fig. 1 eine perspektivische Ansicht eines Trägersubstrats mit lichtführenden Elementen;

[0037] Fig. 2 eine perspektivische Ansicht eines Strahlungswandlers, umfassend das die lichtführenden Elemente aufweisende Trägersubstrat und ein

darauf aufgebrachtes Szintillationsmaterial;

[0038] Fig. 3 eine Draufsicht auf den Strahlungswandler der Fig. 2;

[0039] Fig. 4 eine schematische Schnittdarstellung eines den Strahlungswandlers der Fig. 2 umfassenden Strahlungsdetektors;

[0040] Fig. 5 ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zur Herstellung des Strahlungsdetektors der Fig. 4; und

[0041] Fig. 6 einen Aufbau eines Strahlungsdetektors nach dem Stand der Technik.

[0042] In den Figuren sind gleiche oder funktionsgleiche Elemente durchwegs mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet, sofern nichts anderes angegeben ist. Die Figuren sind lediglich schematisch illustrativ zu verstehen, wobei Darstellungen in den Figuren nicht maßstabsgetreu zu sein brauchen und Maßstäbe zwischen den Figuren variieren können.

[0043] Fig. 1 zeigt eine perspektivische Ansicht eines einen Bestandteil des erfindungsgemäßen Strahlungswandlers bildenden Trägersubstrats **1** mit lichtführenden Elementen **2**. Die lichtführenden Elemente **2** springen von einer Trägersubstratoberfläche **3** in einer im Wesentlichen parallelen Ausrichtung und parallel zu einer Normalenrichtung **N** säulenartig vor. Die lichtführenden Elemente **2** weisen einen kreisförmigen Querschnitt auf. Es sind jedoch auch elliptische, rechteckige, rautenförmige Querschnitte usw. denkbar. Ein Vorteil des kreisförmigen Querschnitts ist eine dadurch erhaltene Isotropie in Ebenen parallel zur Trägersubstratoberfläche. Die Herstellung des Trägersubstrats **1** mit den darauf vorgesehenen lichtführenden Elementen **2** stellt einen ersten Schritt bei der Herstellung eines erfindungsgemäßen Strahlungswandlers dar, was in Fig. 5 dargestellt ist. Das Trägersubstrat **1** mit den lichtführenden Elementen **2** kann z. B. mittels Spritzgießen hergestellt werden. Es kommen aber auch andere, zur Herstellung von Mikrostrukturen bekannte Verfahren in Betracht.

[0044] Fig. 2 zeigt eine perspektivische Ansicht des Strahlungswandlers, umfassend das die lichtführenden Elemente **2** aufweisende Trägersubstrat **1** mit einem auf der Trägersubstratoberfläche **3** aufgebrachten Szintillationsmaterial **4**. Das Szintillationsmaterial **4** ist auf die Trägersubstratoberfläche **3** derart aufgebracht, dass die lichtführenden Elemente **2** im Szintillationsmaterial **4** eingebettet sind, wobei Mantelflächen der lichtführenden Elemente **2** vom Szintillationsmaterial umgeben sind und jeweils zumindest eine Deckfläche **5** nicht vom Szintillationsmaterial **4** überdeckt ist. Das Herstellen des Szintillationsmaterials **4** und dessen Aufbringen auf die Trägersubstra-

toberfläche **3** stellen einen zweiten und dritten Schritt bei der Herstellung des Strahlungswandlers dar, es wird auch auf [Fig. 5](#) verwiesen.

[0045] [Fig. 3](#) zeigt eine Draufsicht auf den Strahlungswandler der [Fig. 2](#). Daraus ist zu erkennen, dass die lichtführenden Elemente **2** matrixartig in Zeilen und Spalten angeordnet sind. Die lichtführenden Elemente **2** können auch in einem anderen als dem gezeigten geometrischen Muster angeordnet sein. Vorzugsweise ist die Anordnung in zur Trägersubstratoberfläche **3** parallelen Ebenen isotrop. Ein Durchmesser D der lichtführenden Elemente liegt im Bereich zwischen $50\ \mu\text{m}$ bis $500\ \mu\text{m}$. Je nach Erfordernissen kann der Durchmesser D auch im Bereich zwischen $100\ \mu\text{m}$ bis $300\ \mu\text{m}$ oder zwischen $150\ \mu\text{m}$ bis $200\ \mu\text{m}$ liegen

[0046] [Fig. 4](#) zeigt eine schematische Schnittdarstellung eines den Strahlungswandler der [Fig. 2](#) umfassenden Strahlungsdetektors. Die Funktion und weitere Eigenschaften des Strahlungsdetektors und des Strahlungswandlers sind wie folgt:

Der Strahlungswandler ist ausgebildet um eine in Richtung einer Strahlungseintrittsfläche **6** einfallende Röntgenstrahlung **7** in Licht **8** zu wandeln. Dazu ist das Szintillationsmaterial **4** vorgesehen, in welchem die Wandlung der Röntgenstrahlung **7** in das Licht **8** erfolgt. Zur einfacheren Herstellung und Verarbeitung kann das Szintillationsmaterial **4** aus einer Träger-substanz, z. B. einem Kleber oder einem Kunststoff, und einem Szintillationspulver hergestellt sein. Das im Szintillationsmaterial **4** erzeugte Licht **8** bzw. zumindest ein Teil dessen kann mittels Photodioden **9** erfasst und in elektrische Signale zur Erzeugung eines Röntgenbilds umgewandelt werden. Der Strahlungsdetektor kann mehrere der in [Fig. 2](#) gezeigten Strahlungswandler aufweisen, welche randseitig aneinander liegend zur Ausbildung eines Arrays angeordnet sind. Die Photodioden **9** können eindimensional, z. B. in einer Zeile, oder zweidimensional, z. B. in mehreren Zeilen, angeordnet sein.

[0047] Die Photodioden **9** sind an einer Lichtaustrittsfläche **10** des Strahlungswandlers angebracht. In der gezeigten Darstellung fällt die Lichtaustrittsfläche **10** mit derjenigen Seite des Strahlungswandlers zusammen, auf welcher die Deckflächen **5** nicht mit Szintillationsmaterial **4** bedeckt sind. Alternativ können die Photodioden **9** auch auf einer der Trägersubstratoberfläche **3** gegenüberliegenden Seite des Trägersubstrats **1** angebracht werden. Die Photodioden **9** sind relativ zu den lichtführenden Elementen **2** derart positioniert, dass jedes lichtführende Element **2** mittig auf einer Lichteintrittsfläche **11** einer jeweiligen Photodiode **9** angeordnet ist.

[0048] Das im Szintillationsmaterial **4** erzeugte Licht **8** kann auf zweierlei Weise zur Lichtaustrittsfläche **10** gelangen:

i) Das Licht **8** oder zumindest ein Teil dessen durchquert das Szintillationsmaterial **4**, ausgehend vom Entstehungsort des Lichts, in Richtung der Photodioden **9** und wird nach Verlassen des Szintillationsmaterials **4** an der Lichtaustrittsfläche **10** von einer der Photodioden erfasst.

ii) Das Licht **8** oder ein Teil dessen trifft auf ein lichtführendes Element **2**, dringt in dieses ein, wird in dessen Längsrichtung mit hoher Wahrscheinlichkeit zu der unter dem lichtführenden Element **2** gelegenen Photodiode **9** geführt, kann über die Deckfläche **5** an der Lichtaustrittsfläche **10** austreten und von der jeweiligen Photodiode **9** erfasst werden.

[0049] Zur Vermeidung von Verlusten betreffend das im Szintillationsmaterial **4** erzeugte Licht **8** kann die von der Lichtaustrittsfläche **10** abgewandte Strahlungseintrittsfläche **6** des Strahlungswandlers mit einem nicht gezeigten Reflektormaterial für das Licht **8** beschichtet sein.

[0050] Das Trägersubstrat **1** und die lichtführenden Elemente **2** sind aus gleichem Material, vorzugsweise aus einem Kunststoff, mittels Spritzgießen hergestellt. Das Szintillationsmaterial **4** umfasst eine pulverartige Szintillationssubstanz, im Weiteren Szintillationspulver genannt, welche mit einer Träger-substanz gemischt ist. Die Träger-substanz kann ein Kleber, Kunststoff, insbesondere Epoxidharz, sein, in welcher das Szintillationspulver dispergiert ist. Das Szintillationspulver kann aus einem keramischen Werkstoff hergestellt sein, welcher z. B. zur Herstellung eines Szintillationsgrünkörpers geeignet ist.

[0051] [Fig. 5](#) zeigt ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zur Herstellung des Strahlungsdetektors der [Fig. 4](#). Wie sich insbesondere aus der Beschreibung zu [Fig. 1](#) bis [Fig. 4](#) ergibt, umfasst ein erster Schritt S1 des Verfahrens die Herstellung des Trägersubstrats **1** mit den darauf vorgesehenen lichtführenden Elementen **2**. Das kann z. B. mittels Spritzgießen erfolgen. Ein zweiter Schritt S2 umfasst die Herstellung des Szintillationsmaterials **4** in füllfähiger Konsistenz. In einem dritten Schritt S3 wird das Szintillationsmaterial **4** auf die Trägersubstratoberfläche **3** aufgebracht. Die Schritte S1 bis S3 stellen ein Verfahren zur Herstellung des in [Fig. 2](#) dargestellten Strahlungswandlers gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung dar. In einem vierten Schritt S4 werden die Photodioden **9** mit dem Strahlungswandler verbunden, wobei die Photodioden **9** mit der Lichteintrittsfläche **11** auf der Lichtaustrittsfläche **10** des Strahlungswandlers angeordnet werden.

[0052] [Fig. 6](#) zeigt einen teilweise aufgebrochenen Aufbau eines herkömmlichen Strahlungsdetektors. Der herkömmliche Strahlungsdetektor weist eine Photodiodenmatrix **12** auf, welche mittels einer Klebstoffschicht **13** auf einem Szintillatorarray **14** ange-

ordnet ist. Das Szintillatorarray **14** weist eine zu Photodioden **15** der Photodiodenmatrix **12** korrespondierende Anzahl an Szintillatorelementen **16** auf. Zur Vermeidung eines optischen Übersprechens der Szintillatorelemente **16** sind zwischen diesen für das Licht **8** nicht transparente Septen **17** vorgesehen. Das Szintillatorarray **14** und die Photodiodenmatrix **12** müssen bei der Herstellung des Strahlungsdetektors derart relativ zueinander positioniert werden, dass die Septen **17** über entsprechenden, zwischen den einzelnen Photodioden **15** gelegenen inaktiven Bereichen zu liegen kommen. Das ist aufwändig und bedingt ein kostenintensives Herstellungsverfahren.

[0053] In Zusammensicht der obigen Ausführungen ergeben sich für den erfindungsgemäßen Strahlungswandler, Strahlungsdetektor bzw. für die entsprechenden Verfahren zu deren Herstellung nachfolgende Vorteile:

Ein herstellungstechnisch aufwändiges, lagegenaues Positionieren des Strahlungswandlers auf den Photodioden **9** ist nicht erforderlich. Es ist nicht zwingend erforderlich, dass die lichtführenden Elemente **2** in einer vorgegebenen Ausrichtung auf den Photodioden positioniert werden.

[0054] Der Herstellungsaufwand für den Strahlungswandler, und damit den Strahlungsdetektor kann deutlich verringert werden. Beispielsweise kann eine aufwändige und kostenintensive Herstellung von Keramikgrünkörpern und deren Weiterverarbeitung zur Herstellung der Szintillatorelemente **16** und Septen **17** umgangen werden. Stattdessen werden bei dem erfindungsgemäßen Strahlungswandler gekörnte, pulverförmige oder fließfähige Szintillationsmaterialien verwendet, welche eine besonders einfache Verarbeitung ermöglichen.

[0055] Mit den lichtführenden Elementen **2** kann eine besonders hervorragende Lichtleitung des Lichts **8** aus dem Szintillatormaterial **4** zu den Photodioden **9** erreicht werden. Trotz der Tatsache, dass beim erfindungsgemäßen Strahlungswandler keine Septen **17** vorgesehen sind, kann eine besonders vorteilhafte Punktbildfunktion erreicht werden.

[0056] Der Strahlungswandler bzw. der Strahlungsdetektor sind insbesondere zur Verwendung bei einem Röntgen-Computertomografen geeignet. Dabei ist der Strahlungswandler bzw. der Strahlungsdetektor nicht auf diese Verwendung beschränkt und kann auch in anderen Röntgeneinrichtungen, z. B. zur Materialprüfung, zur Untersuchung von Gepäckstücken usw. verwendet werden.

Patentansprüche

1. Strahlungswandler zur Wandlung von Röntgenstrahlung (**7**) in Licht (**8**), umfassend ein Szintillationsmaterial (**4**) zur Wandlung der Röntgenstrahlung

(**7**) mit darin im Wesentlichen in paralleler Ausrichtung eingebetteten säulenartig ausgebildeten lichtführenden Elementen (**2**) zum Führen des Lichts (**8**) in deren Längsrichtung und ein Trägersubstrat (**1**) mit einer Trägersubstratoberfläche (**3**), von welcher die lichtführenden Elemente (**2**) in Normalenrichtung (**N**) der Trägersubstratoberfläche (**3**) säulenartig vorspringen, wobei das Trägersubstrat (**1**) aus einem für das Licht (**8**) transparenten Material hergestellt ist.

2. Strahlungswandler nach Anspruch 1, wobei das Trägersubstrat aus einem Kunststoffmaterial hergestellt ist.

3. Strahlungswandler nach Anspruch 1 oder 2, wobei die lichtführenden Elemente (**2**) aus einem für das Licht (**8**) transparenten Kunststoffmaterial hergestellt sind.

4. Strahlungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 2, wobei die lichtführenden Elemente (**2**) in Form einzelner Fasern ausgebildet sind.

5. Strahlungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die lichtführenden Elemente (**2**) entsprechend einem vorgegebenen geometrischen Muster, vorzugsweise matrixartig in Zeilen und Spalten, angeordnet sind.

6. Strahlungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei ein mittlerer Durchmesser (**D**) der lichtführenden Elemente (**2**) im Bereich von 50 µm bis 500 µm, vorzugsweise im Bereich von 100 bis 300 µm, vorzugsweise im Bereich von 150 µm bis 200 µm, liegt.

7. Strahlungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Trägersubstrat (**1**) und die lichtführenden Elemente (**2**) einstückig ausgebildet sind.

8. Strahlungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Trägersubstrat (**1**) und die lichtführenden Elemente (**2**) aus gleichem Material hergestellt sind.

9. Strahlungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei das Szintillationsmaterial (**4**) eine zur Wandlung der Röntgenstrahlung (**7**) in das Licht (**8**) geeignete pulverartige oder gekörnte Szintillationssubstanz umfasst.

10. Strahlungswandler nach Anspruch 9, wobei das Szintillationsmaterial (**4**) ein Gemisch aus einer Trägersubstanz und der Szintillationssubstanz umfasst.

11. Strahlungswandler nach Anspruch 10, wobei die Trägersubstanz einen Kleber, einen Kunststoff, insbesondere Epoxidharz, umfasst.

12. Strahlungswandler nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei die Szintillationssubstanz einen keramischen Werkstoff umfasst.

13. Strahlungsdetektor zur Wandlung von Röntgenstrahlung (7) in elektrische Signale, umfassend zumindest einen Strahlungswandler nach einem der Ansprüche 1 bis 12 und zumindest ein mit einer Lichteintrittsfläche (11) auf einer im Wesentlichen senkrecht zur Längsrichtung der lichtführenden Elemente (2) verlaufenden Lichtaustrittsfläche (10) des Strahlungswandlers angebrachtes Lichtwandlerelement (9) zur Wandlung des Lichts (8) in elektrische Signale.

14. Strahlungsdetektor nach Anspruch 13, wobei das Lichtwandlerelement (9) auf dem Trägersubstrat (1) oder auf einer dem Trägersubstrat (1) gegenüberliegenden Seite des Strahlungswandlers angebracht ist.

15. Strahlungsdetektor nach einem der Ansprüche 13 oder 14, umfassend eine Vielzahl an matrixartig angeordneten Lichtwandlerelementen (9).

16. Verfahren zur Herstellung eines Strahlungswandlers zur Wandlung von Röntgenstrahlung (7) in Licht (8), umfassend die Schritte:

16.1 Herstellen eines Trägersubstrats (1) mit einer Vielzahl in Normalenrichtung (N) einer Trägersubstratoberfläche (3) des Trägersubstrats (1) im Wesentlichen in paralleler Ausrichtung vorspringenden, säulenartigen, zum Führen des Lichts (8) geeigneten lichtführenden Elementen (2),

16.2 Herstellen eines füllfähigen Szintillationsmaterials (4) und

16.3 Aufbringen des Szintillationsmaterials (4) auf die Trägersubstratoberfläche (3) derart, dass sich zumindest ein zusammenhängender Bereich ergibt, in welchem zumindest Mantelflächen der lichtführenden Elemente (2) vom Szintillationsmaterial (4) umgeben sind, wobei

das Trägersubstrat (1) aus einem für das Licht (8) transparenten Material hergestellt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei das Trägersubstrat (1) aus einem Kunststoffmaterial hergestellt wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 oder 17, wobei das Trägersubstrat (1) nach Aufbringen des Szintillationsmaterials (4) abgetragen wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 18, wobei die lichtführenden Elemente (2) aus einem für das Licht (8) transparenten Material, vorzugsweise aus einem Kunststoffmaterial, hergestellt werden.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 19, wobei die lichtführenden Elemente (2) faserartig

ausgebildet werden.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 20, wobei die lichtführenden Elemente (2) entsprechend einem vorgegebenen geometrischen Muster, vorzugsweise matrixartig in Zeilen und Spalten, ausgebildet werden.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 21, wobei das Szintillationsmaterial (4) aus einer zur Wandlung der Röntgenstrahlung (7) in das Licht (8) geeigneten pulverartigen oder gekörnten Szintillationssubstanz hergestellt wird.

23. Verfahren nach Anspruch 22, wobei das Szintillationsmaterial (4) als Gemisch, umfassend eine Trägersubstanz und die Szintillationssubstanz hergestellt wird.

24. Verfahren nach Anspruch 23, wobei die Trägersubstanz aus einem Kleber, einem Kunststoff, insbesondere einem Epoxidharz, hergestellt wird.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 24, wobei die Szintillationssubstanz aus einem keramischen Werkstoff hergestellt wird.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 25, wobei das Trägersubstrat (1) mit den lichtführenden Elementen (2) mittels eines Spritzgussverfahrens hergestellt wird.

27. Verfahren zur Herstellung eines Strahlungsdetektors nach einem der Ansprüche 13 bis 15, umfassend ein Verfahren zur Herstellung eines Strahlungswandlers nach einem der Ansprüche 16 bis 26 und den weiteren Schritt:

27.1 Anbringen zumindest eines zur Wandlung des Lichts (8) in elektrische Signale geeigneten Lichtwandlerelements (9) mit einer Lichteintrittsfläche (11) desselben auf einer senkrecht zu einer Längsrichtung der lichtführenden Elemente (2) verlaufenden Lichtaustrittsfläche (10) des Strahlungswandlers

28. Verfahren nach Anspruch 27, wobei das zumindest eine Lichtwandlerelement (9) auf dem Trägersubstrat (1) oder auf einer dem Trägersubstrat (1) gegenüberliegenden Seite des Strahlungswandlers angebracht wird.

29. Verfahren nach Anspruch 27, umfassend den Schritt des Abtragens des Trägersubstrats (1).

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

FIG 1

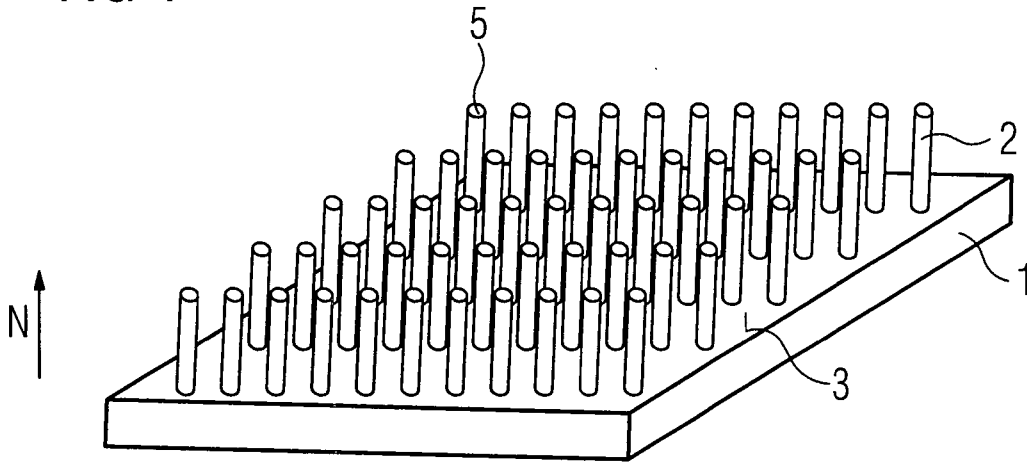


FIG 2

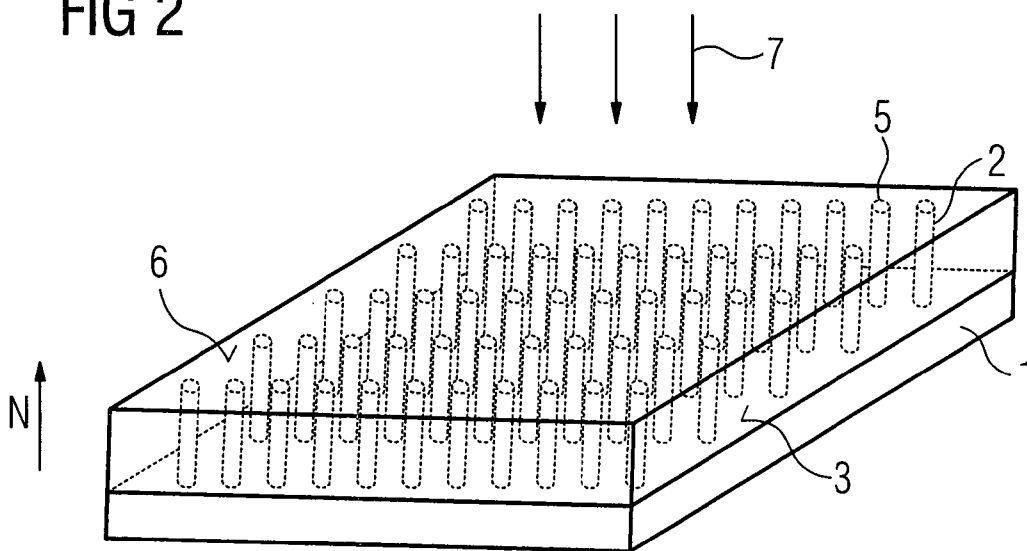


FIG 3

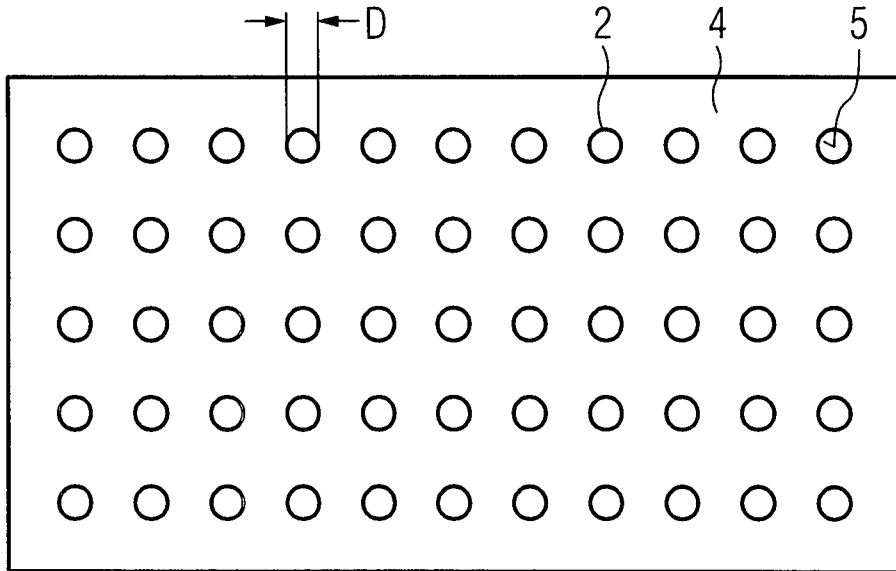


FIG 4

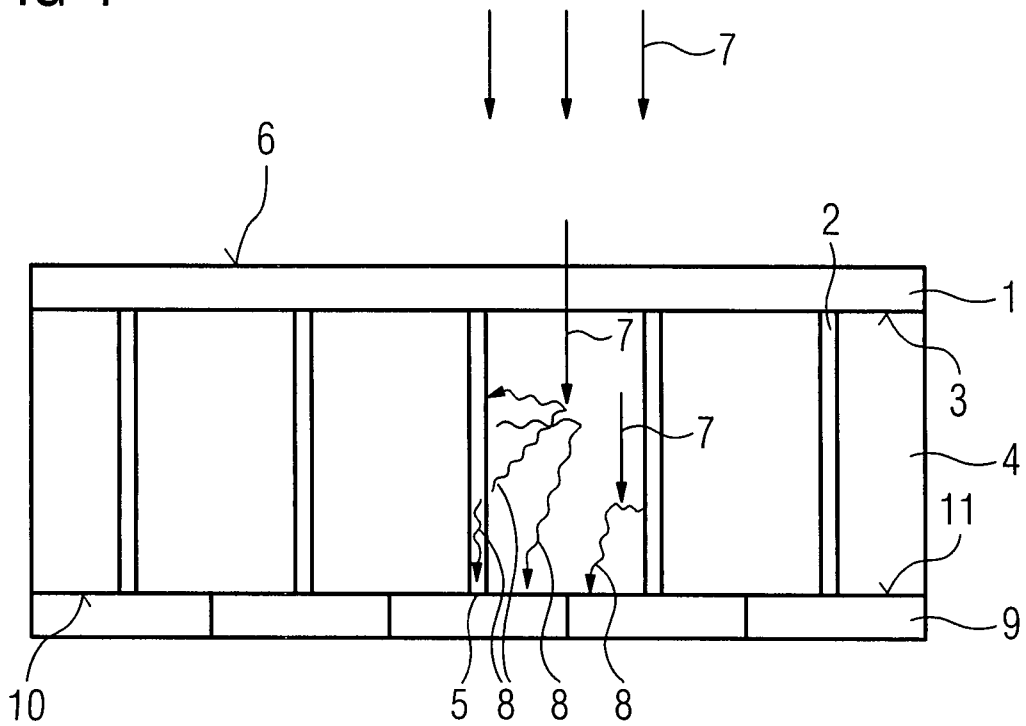


FIG 5

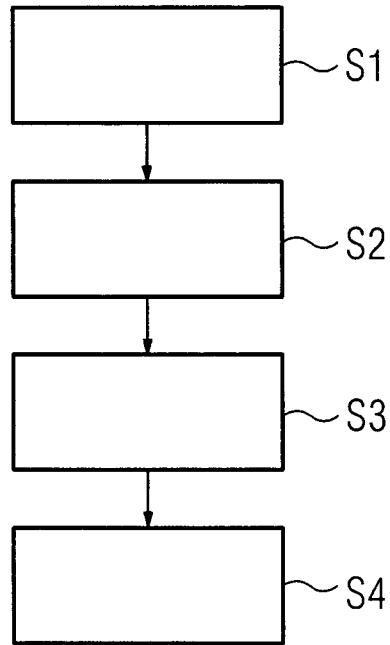


FIG 6

Stand der Technik

